

ВІДГУК

офіційного опонента

кандидата технічних наук Лугової Світлани Олегівни

на дисертаційну роботу **Ткача Павла Юрійовича**

«ВПЛИВ НАДРОТОРНИХ ЕЛЕМЕНТІВ ШНЕКУ НА КАВІТАЦІЙНО-ЕРОЗІЙНІ ЯКОСТІ ШНЕКОВОВІДЦЕНТРОВОГО СТУПЕНЯ НАСОСА»,

що подана на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.05.17 – гідравлічні машини та гідропневмоагрегати

Актуальність теми.

Відповідно до реалізації підходу до вибору насосного обладнання, запропонованого Європейською асоціацією виробників насосів EuroPump, одним з основних критеріїв при виборі насосного обладнання є вартість життєвого циклу насосного агрегату. Суттєву частку витрат життєвого циклу становить собівартість насосного агрегату, яка звісно напряду залежить від масогабаритних показників.

Використання перших шнекововідцентрових ступенів давно знайшло своє впровадження у великій кількості насосів, які використовуються як у нафтовій так і в енергетичній галузі. Але з підвищенням одиничної потужності насосних станцій, використання шнекововідцентрових ступенів стає перешкодою через неможливість запобігти швидкому зносу передвключеного колеса, яке працює в умовах кавітації. Відомі на даний час рішення, які покращують стійкість передвключених коліс до кавітаційної ерозії, призводять до зниження кавітаційних показників насоса. Всі ці відомі рішення були пов'язані з формою лопаті передвключеного колеса. Запропонований в даній роботі підхід, пов'язаний з дослідженням надроторних елементів шнекововідцентрового ступеня, відкриває новий шлях до підвищення кавітаційно-ерозійних якостей шнекововідцентрового ступеня.

Враховуючи вищезазване, робота Ткача П.Ю. є актуальною і присвячена вирішенню важливої науково-практичної задачі – підвищенню кавітаційно-ерозійних характеристик шнекововідцентрового ступеня.

Ступінь обґрунтованості і достовірності наукових положень, висновків, рекомендацій.

Достовірність та обґрунтованість наукових положень дисертаційної роботи обумовлена наступним:

– використанням математичних моделей для опису робочого процесу, які ґрунтуються на фундаментальних положеннях механіки рідини і газу, теорії турбомашин;

– коректною постановкою етапів планування експерименту, що дозволило скоротити об'єм фізичних досліджень;

– застосуванням результатів чисельного експерименту з розрахунку просторової течії в проточній частині шнекововідцентрового ступеня, які були верифіковані шляхом порівняння з результатами зондування потоку у відповідному ступені;

– експериментальні дані отримані здобувачем відповідно до загальноприйнятої методики отримання характеристик відцентрових насосів, яка повністю відповідає ДСТУ ГОСТ 6134:2009 "Насосы динамические. Методы испытаний".

Висновки і рекомендації засновані на детальному аналізі результатів фізичного та віртуального експериментів, які отримані здобувачем.

В процесі виконання дисертаційної роботи здобувачем отримано **нові результати**, які доповнюють теорію робочого процесу і практику конструювання та експлуатації відцентрових насосів, а саме:

- вперше у вітчизняному насособудуванні запропоновано розрахункову модель шнекововідцентрового ступеня з надроторними елементами, яка складається з системи диференціальних рівнянь, що описують усталену турбулентну течію, з початковими та граничними умовами, 3D розрахункової області зі спрощеннями і припущеннями, що дозволяє отримати верифікований результат;
- вперше сформульовані положення фізичної моделі течії у проточній частині шнекововідцентрового ступеня з надроторними елементами;
- вперше визначені оптимальні співвідношення геометричних параметрів надроторної втулки для поліпшення кавітаційно-ерозійних якостей шнекововідцентрового ступеня насоса зі збереженням напірної та енергетичної характеристик;
- вперше запропоновано модель оцінки порогового параметра кавітаційної ерозії при використанні надроторних елементів, що дозволяє оцінити їх ефективність на етапі проектування.

Отримані результати дійсно є новими для теорії робочого процесу і практики конструювання та експлуатації відцентрових насосних агрегатів.

Практичне значення.

Отримані в розглянутій дисертаційній роботі результати є практично значимими, в частині:

- запропонованої схеми шнекововідцентрового ступеня з надроторними елементами, яка поліпшує кавітаційно-ерозійні якості, і на яку отримано патент України на корисну модель;
- отримання значення порогового параметра кавітаційної ерозії $K_{en} = 23,5$, що свідчить про підвищення кавітаційно-ерозійних характеристик, і дозволяє розширити діапазон роботи насоса зі шнекововідцентровим ступенем;
- рекомендацій до проектування надроторних елементів шнекововідцентрового ступеня, які дозволяють визначити геометричні параметри надроторної втулки шнекововідцентрового ступеня з підвищеними кавітаційно-ерозійними характеристиками.

Результати дисертаційної роботи були впроваджені на підприємствах АТ «ВНДІАЕН» та АТ «Сумський завод «Насосенергомаш», а також впроваджено в навчальний процес вищого навчального закладу СумДУ (м. Суми).

Повнота викладу в опублікованих працях.

Апробація результатів роботи здійснена досить широко і повно у ряді науково-технічних конференцій різного рівня, в тому числі й на міжнародних конференціях. Матеріали дисертації оприлюднені у 20 наукових роботах, 6 із яких опубліковані у фахових виданнях з переліку, затвердженому Міністерством освіти і науки, один з яких входить до наукометричної бази Scopus, 1 стаття в закордонному виданні, яке входить до наукометричної бази Scopus, 1 стаття у складі збірника, 11 тез доповідей, а також 1 патент України на корисну модель.

Оцінка змісту дисертації та автореферату.

Дисертаційна робота складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаної літератури та додатків. Загальний обсяг дисертаційної роботи становить 134 сторінки, в тому числі 45 рисунки по тексту, із яких 18 на окремих сторінках в додатку, 11 таблиць по тексту, із яких 1 таблиця в додатку, 4 додатки на 16 сторінках, список використаної літератури з 118 найменувань на 12 сторінках.

У додатках представлені таблиця за результатами планування експерименту, характеристики, отримані на експериментальному стенді, акти впровадження основних результатів роботи на промислових підприємствах України, та у навчальному процесі СумДУ, та список опублікованих праць за темою дисертації.

У вступі обґрунтована актуальність проведеного дослідження, надається формулювання мети, задач дослідження, викладена наукова новизна і практичне значення представленої роботи. Структура представлення основних положень проведеного дослідження у вступі відповідає встановленим вимогам.

У першому розділі викладені результати інформаційно-аналітичного огляду сучасного стану проблеми, пов'язаної з використанням шнековідцентрових ступенів у промислових насосах.

Проведений огляд сучасних конструктивних схем вітчизняних і зарубіжних відцентрових насосів у яких використовується перший шнековідцентровий ступінь. Показано, що основним недоліком при використанні шнековідцентрового першого ступеня в насосах є його швидкий знос в результаті кавітаційної ерозії.

Зроблено аналіз проведених раніше досліджень, та аналіз запропонованих рішень що до підвищення ерозійної стійкості шнековідцентрових ступенів. За результатами попередніх досліджень було встановлено, що найбільш типовим є руйнування передвключеного колеса з тильної сторони лопаті на периферійних ділянках.

На основі аналізу попередніх досліджень було зроблено висновок, що резерви покращення кавітаційно-ерозійних характеристик шнековідцентрового ступеня за рахунок геометрії лише лопатевої системи передвключеного колеса вичерпані.

На основі проведеного інформаційно-аналітичного огляду визначено, що периферійна ділянка шнековідцентрового ступеня по-перше, схильна до значного руйнування внаслідок кавітаційного впливу, а її геометрія впливає на інтенсивність руйнування. Також зроблено висновок, що незважаючи на те, що у деяких описаних дослідженнях розглядався вплив геометрії статорних елементів на кавітаційні якості ступенів, але в результаті несистематичності проведення випробувань отримано різні комбінації позитивних та негативних результатів, що не дозволяє однозначно оцінити ефект від впровадження надроторних елементів.

Багато уваги приділено огляду і вибору методів оцінки кавітаційно-ерозійних якостей, в результаті чого були обрані такі методи як CFD аналіз для оцінки структури течії у шнековідцентровому ступені з надротонними елементами, метод заміру вібрації під час кавітаційних випробувань і метод з використанням легкоруйнівних лакофарбових покриттів для підтвердження основних результатів.

Аналітичний огляд доступної наукової інформації є достатньо повним і глибоким.

У другому розділі сформульовані мета і задачі дослідження. Визначені об'єкт та предмет дослідження.

В першому і другому підрозділах надана принципова схема шнекововідцентрового ступеня з надроторними елементами, та описані методи, які використовувались для вирішення кожної із задач.

У третьому підрозділі наведена методика виконання віртуального експерименту, яка базується на числовому розрахунку системи рівнянь Рейнольдса та рівняння нерозривності. Для замикань системи рівнянь використовувалась стандартна k - ϵ модель турбулентності.

У четвертому підрозділі описаний експериментальний стенд та прибор з можливістю проводити випробування з різними надроторними втулками, методика виконання фізичного експерименту та оцінки результатів. Детально описана методика визначення кавітаційного впливу за допомогою вимірювання вібрації. Наведений розрахунок відносної похибки при виконанні фізичного експерименту.

В цілому матеріал в другому розділі викладений обґрунтовано, послідовно і якісно.

У третьому розділі наведені результати віртуального експерименту. Обґрунтування доцільності використання віртуального експерименту та достовірності одержаних результатів виконано шляхом порівняння епюр розподілу швидкостей, які отримані за допомогою зондування течії та в результаті числового розрахунку.

В результаті віртуального дослідження отримана структура течії у шнекововідцентровому ступені з надроторними елементами, на основі якої сформульовані основні положення фізичної моделі течії.

За запропонованою фізичною моделлю, наявність прямих повздовжніх пазів призводить до зміщення області зворотних токів у напрямку протилежному основному потоку, а також до виникнення дискретних вихорів у пазах статорної втулки, які дроблять кавітаційні каверни, що виникають на лопатях передвключеного колеса. Запропонована фізична модель пояснює механізм, що призводить до покращення кавітаційно-ерозійних характеристик шнекововідцентрового ступеня з надроторними елементами.

Проведений в даній роботі віртуальний експеримент також дозволив визначити геометричні параметри надроторних елементів, вплив яких і було досліджено в ході проведення фізичного експерименту.

У четвертому розділі наведені результати дослідження на експериментальному стенді, яке було сплановано із застосуванням теорії

планування експерименту, і яке дозволило визначити оптимальні співвідношення геометричних параметрів надроторної втулки для покращення кавітаційно-ерозійних характеристик шнекововідцентрового ступеня.

На основі аналізу попередніх експериментів були визначені значущі фактори, а саме: кількість пазів статорної втулки Z , ширина пазів статорної втулки b , довжина пазів перед вхідною кромкою лопатей передвключеного колеса l_1 , довжина пазів за вхідною кромкою l_2 . Глибина пазів була прийнята постійною і дорівнювала $h=5\text{мм}$.

За параметр оптимізації було прийнято порогове значення параметра стійкості до кавітаційної ерозії K_{en} .

За результатами реалізованих дослідів було отримано рівняння регресії, що зв'язує параметр оптимізації K_{en} з основними факторами Z , b , l_1 , l_2 . Для знаходження оптимального значення параметра K_{en} було використано метод крутого сходження.

Для базового та визначеного оптимального варіанту геометрії шнекововідцентрового ступеня з надроторними елементами наведені порівняльні характеристики, які показують підвищення кавітаційно-ерозійних якостей при одночасному збереженні напірної і енергетичної характеристик.

Окремий підрозділ четвертого розділу присвячений перевірці отриманих результатів за допомогою метода з використанням легкоруйнівного покриття. Для підтвердження отриманого результату були проведені випробування протягом 4 годин для гладкої надроторної втулки (базовий варіант) і протягом 4 годин для надроторної втулки з отриманими оптимальними розмірами. Випробування проводились на режимі, який є найгіршим з точки зору кавітаційного руйнування. Експеримент показав відсутність зносу покриття для надроторної втулки з пазами.

Також в четвертому розділі надані рекомендації до проектування надроторних елементів, що становлять практичну цінність даної роботи.

Висновки по роботі. В роботі надано чотири висновки, які узагальнюють висновки по розділах і підсумовують результати дослідження в цілому. Всі вони у логічному порядку вказують на основні результати дослідження, відображають творчий шлях здобувача і його успіхи у науковому пізнанні робочого процесу в шнекововідцентровому ступені з надроторними елементами на основі аналітичного, чисельного і фізичного дослідження робочого процесу в проточній частині. За обсягом і структурою представлена дисертаційна робота відповідає установленим вимогам.

Структура подання матеріалу в авторефераті відповідає встановленим вимогам. Основні положення дисертації викладені в авторефераті логічно, послідовно і якісно. Зміст автореферату об'єктивно відображає основні положення дисертації, розбіжностей між суттю дисертації і автореферату не виявлено.

Зауваження по роботі

1. У наведених в третьому розділі порівняльних графіках розподілу швидкостей, отриманих при чисельному розрахунку та шляхом зондування течії не вказано конкретно у яких перерізах визначалися параметри швидкостей.
2. При обґрунтуванні та верифікації результатів чисельного розрахунку доцільно було б привести порівняння результатів, отриманих із застосуванням різних моделей турбулентності.
3. При визначенні рекомендацій до проектування надроторних елементів, не вказано для яких діапазонів втулкового відношення передвключеного колеса вони можуть застосовуватися.
4. Вважаю, що доцільно було б провести ресурсні випробування хоча б для вибраного оптимального варіанта.
5. В дисертаційній роботі і авторефераті присутній ряд орфографічних помилок, які, однак, не викривляють суть роботи в цілому.

Висновок

Проведений аналіз змісту дисертації Ткача П.Ю. «Вплив надроторних елементів шнеку на кавітаційно-ерозійні якості шнековідцентрового ступеня насоса», автореферату і публікацій дозволяє зробити такі висновки:

1. Дисертація є завершеною працею, в якій розв'язуються важливі науково-практичні задачі розвитку насособудування. Викладення матеріалу у тексті дисертації чітке і послідовне. Робота оформлена у відповідності до встановлених норм і вимог.
2. Тема роботи є актуальною, що обґрунтовано на початку відгуку і відповідає спеціальності 05.05.17 – гідравлічні машини та гідропневмоагрегати.
3. Наукова новизна і практична цінність одержаних здобувачем результатів мають місце і достатні для рівня кандидата наук.
4. Достовірність результатів: всі початкові передумови чисельних досліджень здобувач обґрунтував теоретично та порівняв з даними фізичного

експерименту. Найсуттєвіші результати роботи отримані в результаті фізичного експерименту, що виконаний у відповідності до вимог ДСТУ ГОСТ 6134:2009. Висновки по розділах та по роботі в цілому обґрунтовані, науково і практично значимі.

5. Результати проведеного дослідження достатньо повно оприлюднені у публікаціях та апробовані перед науковцями.

6. Автореферат об'єктивно відображає зміст дисертації, його оформлення відповідає встановленим вимогам.

Вважаю, що висловлені зауваження не знижують важливості основних досягнень здобувача. Дисертацію Ткача П.Ю. оцінюю позитивно. Робота є завершеною науковою працею і вносить вклад у теорію гідромашинобудування в питаннях аналізу робочого процесу шнековідцентрових ступенів, зокрема, в питаннях дослідження впливу геометрії надроторних елементів на кавітаційно-ерозійні характеристики шнековідцентрових ступенів.

В цілому робота «Вплив надроторних елементів шнеку на кавітаційно-ерозійні якості шнековідцентрового ступеня насоса» повністю відповідає вимогам п. 9, 11, 12 «Порядку присудження наукових ступенів і присвоєння вченого звання старшого наукового співробітника» щодо кандидатських дисертацій, а її автор Ткач Павло Юрійович заслуговує присудження наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.05.17 – гідравлічні машини та гідропневмоагрегати.

Офіційний опонент,
кандидат технічних наук,
начальник відділу проточних частин
АТ «Сумський завод «Насосенергомаш»

С.О. Лугова

Підпис Лугової С.О. засвідчую
Начальник відділу кадрів



О.Д. Колесник